

Conferencia

Secciones condensadas y máximos transgresivos. Una relación equívoca

Condensed sections and maximum transgressives. An equivocal relation

J. José Gómez (*) y S. Fernández-López (**)

(*) Dpto. Estratigrafía, Fac. Ciencias Geológicas e Instituto de Geología Económica, C.S.I.C. Universidad Complutense. 28040 Madrid.

(**) Dpto. Paleontología, Fac. Ciencias Geológicas e Instituto de Geología Económica, C.S.I.C. Universidad Complutense. 28040 Madrid.

RESUMEN

El método analítico de la estratigrafía secuencial permite aclarar la organización espacio-temporal de los depósitos en las cuencas sedimentarias. Sin embargo, la distribución relativa de las inconformidades y de las secciones condensadas no puede seguir siendo utilizada como criterio diagnóstico de una localización paleogeográfica particular, o de cambios eustáticos hacia condiciones más oceánicas o de mayor profundidad, en relación con etapas de máxima transgresión regional. Durante las etapas de máxima transgresión pueden ocurrir procesos de condensación en las partes distales de las cuencas, pero también hay procesos de condensación durante las etapas de máxima regresión en las partes más someras de las plataformas. Las secciones condensadas no sólo están asociadas a las superficies de máxima transgresión sino también a los cortejos generados en condiciones de bajo nivel del mar.

Los conceptos de condensación estratigráfica, condensación sedimentaria y condensación tafonómica son útiles para analizar las pautas de distribución de los sedimentos en las cuencas, así como para estimar las variaciones laterales y verticales de las tasas (VTS) y de las velocidades de sedimentación (VVS). En contra de la interpretación más usual del desarrollo de las secuencias de somerización o de las parasecuencias, los máximos valores de tasa, velocidad, profundidad relativa y grado de acomodación de los sedimentos de estas secuencias corresponden a los niveles basales, y los valores de estas variables disminuyen hacia el techo.

La distinción entre los procesos de condensación de estas tres categorías permite predecir que los grados de condensación sedimentaria y de condensación estratigráfica serán mayores hacia las partes distales de las plataformas; mientras que los procesos de condensación estratigráfica sin condensación sedimentaria presentarán su máxima intensidad y frecuencia en las áreas más someras de las plataformas.

Las secciones condensadas pueden servir para evidenciar ciclos eustáticos y para establecer correlaciones temporales. Sin embargo, si se siguen correlacionando indiscriminadamente las secciones condensadas de las zonas medias y distales de las cuencas, generadas durante máximos transgresivos, con las secciones condensadas de las zonas proximales, debidas a máximos regresivos, las correlaciones temporales establecidas serán tan diacrónicas como las facies más progradantes o retrogradantes desarrolladas en las plataformas.

Palabras clave: Secciones condensadas, Estratigrafía secuencial, Tafonomía aplicada, Secuencias deposicionales, Ciclos eustáticos.

ABSTRACT

Sequence stratigraphy allows to elucidate the time-space organization of the deposits in the sedimentary basins. However, the relative distribution of the unconformities as well as of the condensed sections can neither be used as a diagnostic criteria for a particular paleogeographic setting, nor as an indicator of eustatic changes towards deeper conditions related to maximum regional transgressions. Condensation processes can occur during maximum transgressive stages in the distal portion of the basins, but condensation processes are also present along maximum regression stages in the shallowest portions of the platforms. Condensed sections are not only related to the maximum flooding surfaces but also to the systems tracts generated under low sea level conditions.

The stratigraphic, sedimentary and taphonomic condensation concepts are useful to analyze the sediments distribution patterns in the sedimentary basins, and also to estimate the lateral and vertical variations in rates (VTS) and sedimentation velocities (VVS). Against the most usual interpretation about the development of the shallowing-upward sequences or parasequences, the maximum rate, velocity, and amount of accommodation values, as well as the highest relative depth, correspond to the lowest levels of these sequences, and are decreasing towards the top.

The distinction between processes of each one of the three categories of condensation allows to make the prediction that sedimentary and stratigraphic condensation degrees will be higher towards the distal portions of the platforms, whilst the stratigraphic condensation processes without sedimentary condensation will show the maximum intensity and frequency in the shallowest portions of the platforms.

Condensed sections can serve to evidence eustatic cycles and the establishment of temporal correlations. However, if the condensed sections from the middle and distal portions of the basins, generated during maximum transgressions, are correlated with the condensed sections of the proximal zones, due to regressive maximums, the temporal correlations can be as diachronous as the most retrogradational or progradational facies developed in the shelves.

Key words: Condensed sections, Sequence stratigraphy, Applied taphonomy, Depositional sequences, Eustatic cycles.

Gómez, J. J. y Fernández-López, S. (1992): Secciones condensadas y máximos transgresivos. Una relación equívoca.

Geogaceta, 11 (1992), 130-137.
ISSN: 0213683X

I. Introducción

Uno de los mayores retos en Estratigrafía, por sus repercusiones económicas, es encontrar criterios de correlación a escala global. Por este motivo, la división del registro geológico en unidades sigue siendo un tema de actualidad. En este sentido, varios profesionales del grupo de EXXON han desarrollado y aplicado la estratigrafía sísmica. Partiendo de los datos estratigráficos de superficie y de subsuelo, han podido reconstruir la arquitectura estratigráfica de numerosas cuencas ocultas por sedimentos más recientes, mediante la identificación y conteo de los diferentes ciclos transgresivos y regresivos visibles a escala sísmica. El paso siguiente ha sido la elaboración de curvas eustáticas globales, y más tarde se ha aplicado la estratigrafía secuencial a los materiales visibles en superficie de otras cuencas sedimentarias (cf. Riuoul *et al.*, 1991; Jacquin *et al.*, 1991; Doglioni *et al.*, 1990; Vail *et al.*, 1987).

Según el modelo desarrollado por el grupo de EXXON, una secuencia de depósito está limitada por discontinuidades y está constituida por una serie de cortejos sedimentarios (systems tracts). Estos cortejos se interpretan como formados en respuesta a los cambios relativos del nivel del mar, primariamente controlados por cambios eustáticos. En cada secuencia de depósito, la superficie de máxima inundación (maximum flooding surface) se sitúa en el techo del cortejo transgresivo, coincidiendo con la máxima profundización de la cuenca. Durante este episodio transgresivo, los depocentros migran hacia el conti-

nente, los cortejos transgresivos aumentan de espesor hacia la plataforma y, debido a la combinación de subsidencia tectónica y ascenso eustático, las zonas distales quedan sin o con muy escaso suministro de sedimentos (Van Waagoner *et al.*, 1988).

Las bajas tasas de sedimentación en las zonas medias y distales de la cuenca dan lugar a secciones condensadas, que suelen presentar características sedimentológicas muy llamativas. Estas secciones condensadas son facies ligadas a la superficie de máxima transgresión de la plataforma, y están asociadas al máximo transgresivo o «máxima profundización» durante el desarrollo de una secuencia de depósito. La duración relativa de las secciones condensadas aumenta hacia la cuenca, y en las áreas más profundas se pueden superponer varias secciones condensadas. En este sentido se considera que la mayor parte de los sedimentos de las cuencas oceánicas entran dentro de la definición de secciones condensadas, debido a que las tasas de sedimentación en los océanos profundos son generalmente bajas (inferiores a 1 cm./1.000 años, según Loutit *et al.*, 1988).

Las secciones condensadas pueden ser fácilmente identificadas por la presencia de «hard-grounds», superficies de omisión, alta concentración de fósiles planctónicos y bentónicos, que a veces constituyen asociaciones mezcladas en las cuales es posible distinguir fósiles de dos o más zonas, costas, bioturbación intensa, materia orgánica, bentonitas, y a veces concentraciones de elementos del grupo del platino, tales como iridio, etc. Por esta supuesta facilidad para ser reconocidas, las secciones condensadas o las

facies condensadas son unas de las más buscadas en el campo por los geólogos y, junto a las inconformidades, se utilizan como la pieza clave para la identificación de las secuencias de depósito en los afloramientos (Haq *et al.*, 1988).

Teniendo en cuenta la distribución relativa de las inconformidades y de las secciones condensadas en numerosas cuencas sedimentarias, se ha llegado a establecer una curva de ciclos eustáticos de validez global, para el intervalo Triásico-Actual. Entendidas como el resultado de cambios eustáticos, las secciones condensadas juegan un papel importante en la correlación estratigráfica tanto a escala regional como global (Haq *et al.*, 1988; Loutit *et al.*, 1988).

La gran difusión alcanzado por estos modelos del grupo EXXON ha llevado a muchos autores a generalizar la idea de que las secciones condensadas se han desarrollado exclusivamente durante las etapas transgresivas, y que los intervalos de condensación deben ser interpretados como el resultado de máximos transgresivos. De hecho se ha llegado a la situación de que algunas facies de alta energía hidrodinámica, tradicionalmente interpretadas como características de ambientes someros, son aceptadas como facies marinas desarrolladas en ambientes profundos y durante máximos transgresivos, por presentar señales de condensación. Muchos autores consideran la condensación como el criterio fundamental y prioritario, en cualquier análisis paleobatimétrico, para diagnosticar los episodios de máxima profundización. Sin embargo esta relación entre condensación y paleobatimetría es equívoca, porque las secciones con-

CONDENSACION

FACTORES

CATEGORIAS

-Disminución de la
TASA de sedimentación.



-CONDENSACION
ESTRATIGRAFICA.

-Disminución de la
VELOCIDAD de sedimentación.



- CONDENSACION
SEDIMENTARIA.

-Mezcla de FOSILES de
distinta edad.



-CONDENSACION
TAFONOMICA.

Fig. 1.—Los procesos de condensación pueden ser atribuidos a tres categorías diferentes (condensación estratigráfica, condensación sedimentaria y condensación tafonómica) teniendo en cuenta los factores que han intervenido.

Fig. 1.—The condensation processes can be attributed to three different categories (stratigraphic condensation, sedimentary condensation and taphonomic condensation) depending on the intervening factors.

densadas pueden haberse formado en condiciones paleobatimétricas muy diferentes (desde ambientes oceánicos profundos hasta ambientes de plataforma emergida), y en algunas cuencas someras representan máximos regresivos.

El principal error que se está cometiendo en la actualidad consiste en asumir que la condensación se genera por una sola causa: la ausencia de suministro de sedimentos en las partes distales de la plataforma durante la máxima transgresión. En realidad, los resultados de la condensación se deben a la intervención de diversos factores. Entre ellos cabe destacar la disminución de la tasa de sedimentación, la mezcla de asociaciones de fósiles por reelaboración tafonómica y la disminución en la velocidad de sedimentación. Si se tiene en cuenta la influencia de estos tres factores hay que distinguir tres categorías diferentes de procesos de condensación: la condensación estratigráfica, la condensación sedimentaria y la condensación tafonómica (fig. 1).

2. Condensación estratigráfica

El término condensación estratigráfica ha sido empleado por numerosos autores para hacer referencia a la disminución de espesor de cualquier sucesión estratigráfica como consecuencia de una tasa de sedimentación más

escasa o nula, de acuerdo con el significado propuesto por Heim (1934). Las capas, bancos, horizontes, niveles, secuencias o sucesiones estratigráficas están condensadas cuando tienen menor espesor que otra sucesión estratigráfica contemporánea, o de intervalo temporal equivalente, que se utiliza como referencia. Otros términos más recientes para dichos resultados son: secciones condensadas, intervalos condensados e intervalos de condensación; y para los resultados contrarios: secuencias dilatadas, sucesiones extendidas o secciones expandidas.

La tasa de sedimentación correspondiente a un intervalo estratigráfico es la relación entre su espesor y la duración de su intervalo temporal de formación, por lo cual el valor exacto de dicha tasa suele ser expresado en centímetros por millón de años o en unidades análogas a éstas. Para estimar la disminución lateral de la tasa de sedimentación y calcular la intensidad del proceso de condensación del correspondiente intervalo estratigráfico se puede utilizar la siguiente ecuación:

$$Ce = \left(1 - \frac{P_l}{P_r}\right) \cdot 100$$

siendo Ce el grado de condensación estratigráfica, P_l la potencia del intervalo estratigráfico local, y P_r la potencia del intervalo estratigráfico utilizado como referencia. Dichos intervalos pueden ser o no de la misma sucesión estrati-

gráfica porque el requisito para compararlos es que correspondan a intervalos temporales de igual duración, aunque sean de distinta antigüedad. El concepto de condensación estratigráfica presupone que el valor de P_l es menor que el de P_r , y para calcular estos valores debe tenerse en cuenta los efectos de la compactación diferencial entre sedimentos. El grado de condensación estratigráfica aumenta al disminuir el valor de la potencia del intervalo local, y dicho grado alcanza el valor máximo (100%) si la potencia local llega a ser nula. Cabe destacar que el grado de condensación estratigráfica no debe ser confundido con la tasa de sedimentación, ni con la diferencia de espesores o con la proporción entre las tasas de sedimentación alcanzadas durante intervalos temporales de duración equivalente.

Un concepto más general que el de condensación estratigráfica es el de *variación lateral y/o vertical de la tasa de sedimentación* (VTS). Para intervalos temporales equivalentes, las variaciones relativas de la tasa de sedimentación pueden expresarse de manera numérica por la proporción entre los valores de las potencias locales y el valor de la potencia utilizada como referencia: $VTS = P_l/P_r$. Respecto a este índice, a las secciones condensadas les corresponden valores inferiores a 1 mientras que las secciones dilatadas alcanzan valores superiores a la unidad.

Por otra parte es importante señalar que un alto grado de condensación estratigráfica no implica que los sedimentos se hayan depositado a baja velocidad. Por ejemplo, algunos niveles condensados están constituidos por tempestitas a las que les corresponde una alta velocidad de sedimentación. De acuerdo con estos resultados, la *condensación estratigráfica* es el proceso de formación de cuerpos rocosos de menor espesor que otros de intervalo temporal equivalente, como consecuencia de una tasa de sedimentación más escasa o nula (Fernández-López y Gómez, 1991).

3. Condensación sedimentaria

Los conceptos de tasa de sedimentación y de grado de condensación estratigráfica no permiten algo tan necesario en Estratigrafía y Sedimentología como es relacionar las velocidades de

sedimentación y los espesores de dos o más cuerpos rocosos. Para estos propósitos se ha propuesto el concepto de condensación sedimentaria (Fernández-López y Gómez, 1991).

La *condensación sedimentaria*, es el proceso de formación de cuerpos rocosos de menor espesor que otros contemporáneos o de intervalo temporal de duración equivalente, debido a una menor velocidad de sedimentación. La condensación sedimentaria da lugar a sedimentos condensados, fosilíferos o no, mientras que los resultados contrarios pueden ser llamados sedimentos extendidos o expandidos. En el caso extremo, la condensación sedimentaria da lugar a sedimentos condensados formados durante intervalos de sedimentación prácticamente nula, que están constituidos fundamentalmente por minerales autigénicos y restos de organismos colonizadores, como, por ejemplo, costras ferruginosas con restos de organismos incrustantes.

El concepto de *grado de condensación sedimentaria* no es sinónimo del de velocidad de sedimentación. La relación entre estas variables puede expresarse mediante la siguiente ecuación:

$$Cs = (1 - \frac{V_l}{V_r}) \cdot 100$$

siendo Cs el grado de condensación sedimentaria, V_l la velocidad de sedimentación correspondiente al cuerpo rocoso local, y V_r la velocidad de sedimentación del cuerpo rocoso utilizado como referencia. Como ocurre con la condensación estratigráfica, los cuerpos rocosos comparados pueden ser o no de la misma sucesión estratigráfica, pero la condensación sedimentaria supone que el valor de V_l es menor que el de V_r . El grado de condensación sedimentaria aumenta cuando el valor de la velocidad de sedimentación local disminuye respecto a la velocidad de sedimentación utilizada como referencia, y alcanza el valor máximo (100%) si la velocidad de sedimentación local llega a ser nula.

Al comparar una sección o un intervalo estratigráfico constituido por varios cuerpos rocosos superpuestos, que representan distintos episodios de sedimentación y están separados por lagunas o intervalos de omisión, debe tenerse en cuenta que la velocidad de sedimentación de cada uno de los episodios pudo ser muy distinta de la de

los otros. En tales casos, la velocidad media de sedimentación, calculada como el valor medio de las velocidades de los distintos episodios de sedimentación, sirve para estimar la velocidad de sedimentación correspondiente a los materiales de dicho intervalo estratigráfico. Estos conceptos de velocidad media de sedimentación local y de velocidad de sedimentación local no son sinónimos del concepto de grado de condensación sedimentaria.

El concepto de *variación lateral y/o vertical de la velocidad de sedimentación* (VVS) es más general que el concepto de condensación sedimentaria. La variación relativa de la velocidad de sedimentación está representada por la proporción entre el valor de la velocidad de sedimentación local (V_l) y el valor de la velocidad de sedimentación utilizada como referencia (V_r): $VVS = V_l/V_r$. Al utilizar este índice, los sedimentos condensados presentan valores inferiores a 1, mientras que los llamados sedimentos dilatados alcanzan valores superiores a la unidad.

El grado de condensación sedimentaria puede ser expresado en valores estándar si la velocidad de referencia es un valor convencional, que de acuerdo con los datos obtenidos en medios actuales y a partir del registro geológico debería ser inferior a 1 cm./1.000 años. Sin embargo, los valores exactos de la velocidad de sedimentación suelen ser difíciles de estimar en la actualidad a partir de los datos del registro geológico, por lo cual este concepto de grado de condensación sedimentaria estándar resulta poco operativo en las interpretaciones sedimentológicas y estratigráficas. No obstante, teniendo en cuenta criterios sedimentológicos, paleoecológicos, tafonómicos y biocronológicos, entre otros, es posible a menudo hacer estimaciones de las velocidades de sedimentación y diagnosticar la presencia de sedimentos condensados. En particular, los datos estratigráficos y sedimentológicos referentes a la composición, textura y estructura de los cuerpos rocosos permiten identificar su génesis y diagnosticar en muchos casos si se trata de sedimentos condensados o de sedimentos extendidos. Por ejemplo, en una misma secuencia sedimentaria, a los términos tractivos les corresponde mayor velocidad de sedimentación que a los términos de decantación.

Es importante señalar que las sec-

ciones extendidas pueden estar compuestas por sedimentos condensados. Por ejemplo, hay sedimentos condensados en facies de «black shales», que se han formado a menor velocidad de sedimentación que otros de intervalo temporal equivalente, y sin embargo, constituyen secciones extendidas.

En resumen, cuando se pretende analizar las pautas de distribución de los sedimentos de una cuenca para interpretar su génesis es necesario distinguir los procesos de condensación estratigráfica de los procesos de condensación sedimentaria. Al realizar estos análisis es posible encontrar secciones condensadas que, sin embargo, están constituidas por sedimentos de alta velocidad; por ejemplo, varias tempestitas superpuestas y separadas por amplios intervalos sin sedimentación pueden constituir una sección condensada. Análogamente, hay secciones extendidas compuestas por sedimentos condensados; por ejemplo, varias hemipelagitas superpuestas pueden ser los componentes de una sección extendida.

4. Condensación tafonómica

La identificación de secciones condensadas sólo puede hacerse después de haber establecido la equivalencia temporal entre los intervalos estratigráficos comparados. Para averiguar esta equivalencia temporal, en la actualidad suele utilizarse datos cronoestratigráficos o datos biocronológicos. Uno de los criterios utilizados con más frecuencia para diagnosticar la condensación estratigráfica ha sido la presencia de asociaciones mezcladas constituidas por fósiles de dos o más zonas. Sin embargo, las asociaciones mezcladas no son un criterio fidedigno de condensación estratigráfica o de condensación sedimentaria cuando se utilizan sin datos tafonómicos.

El análisis tafonómico de los fósiles de un mismo nivel estratigráfico permite discernir si se trata de: 1) fósiles reelaborados que han sido heredados de materiales más antiguos que el nivel donde están contenidos, o 2) fósiles no-reelaborados (resedimentados o acumulados) en cuyo caso son penecontemporáneos con el sedimento donde se encuentran. Las dataciones y la comparación entre los cuerpos rocosos del mismo intervalo temporal han de estar justificadas por

los fósiles no-reelaborados, ya que los fósiles reelaborados no permiten identificar unidades bioestratigráficas ni cronoestratigráficas. Para interpretar las asociaciones mezcladas es necesario aplicar criterios tafonómicos, no-biocronológicos, y en particular el concepto de condensación tafonómica.

Por *condensación tafonómica* se entiende el proceso de mezcla de restos y/o señales de entidades biológicas del pasado temporalmente sucesivas (Fernández-López, 1984, 1991). La condensación tafonómica da lugar a asociaciones condensadas, constituidas por fósiles de distinta edad que fueron enterrados juntos en el mismo cuerpo rocoso.

Las asociaciones condensadas pueden ser debidas a fenómenos de turbulencia, y encontrarse en sedimentos extendidos formados en condiciones de alta velocidad de sedimentación. También en sucesiones estratigráficas extendidas, a las que les corresponden altos valores de tasa de sedimentación y que, a veces, están compuestas por sedimentos de alta velocidad de sedimentación, se encuentran asociaciones condensadas (por ejemplo, esto ocurre en algunos sedimentos turbidíticos). Por lo tanto, el grado de condensación tafonómica de una asociación no implica que dicha asociación se encuentra en un horizonte de condensación estratigráfica o en sedimentos condensados. Además, hay

que hacer notar que el concepto de condensación tafonómica sólo puede ser aplicado a los componentes del registro fósil, en tanto que los conceptos de condensación estratigráfica y de condensación sedimentaria se refieren, respectivamente a los cuerpos rocosos superpuestos y a los sedimentos del registro estratigráfico.

El *grado de condensación tafonómica* de una asociación puede ser expresado en función del número de unidades cronoestratigráficas o de unidades biocronológicas que representan los elementos de la asociación. El valor estimado y su precisión dependen del grado de resolución de la escala biocronológica disponible pero, en cualquier caso, el grado de

CURVA EUSTATICA

NIVEL DEL MAR
Bajo Alto

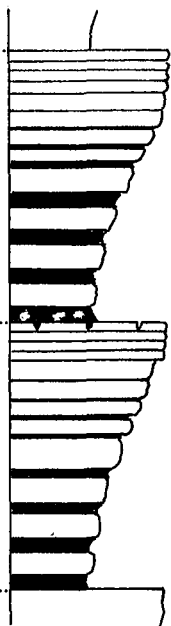
Progradación de sedimentos de aguas someras hacia el centro de la cuenca

Alta tasa de sedimentación
Acomodación creciente

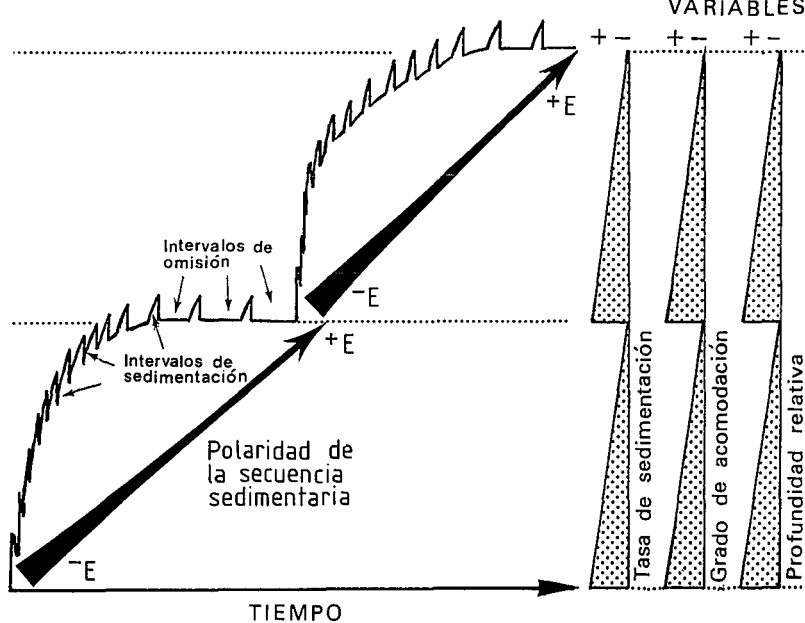
Baja tasa de sedimentación

Sedimentación principalmente agradacional

SECUENCIAS SEDIMENTARIAS



CURVA DE DESARROLLO SECUENCIAL



(A) Según HALLAM (1988).

(B) Interpretación que se propone.

Fig. 2.—Dos interpretaciones distintas de la polaridad de las secuencias sedimentarias de somerización características de plataforma, en función de las tasas de sedimentación, la profundidad relativa del nivel del mar y el grado de acomodo de los sedimentos. Los niveles basales de las secuencias suelen contener fósiles mezclados de distintas biozonas, por lo cual muchos autores los interpretan como niveles condensados y «lags» transgresivos indicadores de máxima profundización y mínima tasa de sedimentación (1A). En realidad se trata de asociaciones condensadas cuya presencia indica condensación tafonómica pero no implica que se encuentren en niveles o sedimentos condensados. Los datos sedimentológicos, tafonómicos y paleoecológicos permiten reconstruir las curvas de desarrollo secuencial y ponen de manifiesto la polaridad de estas secuencias sedimentarias, desde los niveles basales a los que les corresponden los máximos valores de tasa, velocidad, profundidad relativa y grado de acomodación de los sedimentos hasta los niveles superiores donde estas variables alcanzan los valores mínimos (1B).

Fig. 2.—Two different interpretation of the polarity of the shallowing upwards sedimentary sequences characteristics of the platforms. Interpretations are based on the sedimentation rate, the relative depth and the sediments accommodation degree. The lowermost levels of the sequence frequently contain mixed fossils from different biozones. Based on that, many authors interpret them as condensed levels and transgressive lags, indicators of maximum depth and minimum sedimentation rate (1A). In reality they are condensed fossils assemblages indicating taphonomic condensation, but their presence in those levels do not imply that they are found in condensed levels or condensed sediments. The sedimentological, taphonomical and paleoecological data allow the reconstruction of the sequential development curves. From these curves it can be seen that the polarity of these sedimentary sequences goes from the lowermost levels, where the maximum rate, velocity and relative depth values as well as maximum accommodation degree of the sediments are recorded, to the uppermost levels where these variables reach the minimum values (1B).

condensación tafonómica tiene un valor dimensional, expresado por el número de unidades de tiempo o de unidades que representan tiempo geológico. Por el contrario, el grado de condensación estratigráfica y el de condensación sedimentaria se expresan mediante valores adimensionales.

5. Condensación en secuencias sedimentarias

La falta de distinción entre condensación estratigráfica, tafonómica y sedimentaria ha llevado a interpretaciones erróneas en los análisis de cuencas. Uno de los casos más frecuentes y notorios es el de la interpretación de las secuencias de somerización características de ambientes de plataforma marina o de las parasecuencias. Estas secuencias de somerización, que suelen ser estrato y grano crecientes, son interpretadas como el resultado de variaciones en la tasa de sedimentación, la profundidad relativa del nivel del mar y el grado de acomodación de los sedimentos. Según muchos autores, en cada secuencia de somerización, los menos valores de tasa de sedimentación se sitúan en los términos inferiores, y los mayores descensos relativos del nivel del mar están representados en los términos superiores. Según esta interpretación, los mayores valores de tasa de sedimentación, de profundidad relativa del nivel del mar y de grado de acomodación de los sedimentos se encuentran en los términos intermedios de cada secuencia. En particular, los niveles basales de las secuencias suelen contener fósiles mezclados de distintas biozonas y tradicionalmente han sido interpretados como niveles condensados, formados durante un amplio intervalo temporal con valores bajos de velocidad y tasa de sedimentación, cuando en realidad se trata de asociaciones condensadas cuya presencia no implica que se encuentran en niveles o sedimentos condensados. En la actualidad, muchos de estos horizontes condensados han pasado a ser interpretados como «lags» transgresivos, e indicadores de máxima profundización durante el amplio intervalo temporal de condensación estratigráfica (fig. 2A). Sin embargo, si se utilizan los datos estratigráficos y sedimentológicos acompañados de criterios paleoecológicos y tafonómicos,

esta interpretación del desarrollo de las secuencias de plataforma debe ser modificada.

Teniendo en cuenta cómo se ha formado cada una de los niveles estratigráficos que constituyen las secuencias de somerización características de plataforma, puede comprobarse con datos sedimentológicos, paleoecológicos y tafonómicos que los términos inferiores suelen corresponder a substratos blandos, mientras que los términos intermedios y superiores fueron substratos más evolucionados e incluso fondos duros («hard-grounds») antes de ser enterrados por sedimentos más recientes. Las variaciones en la composición taxonómica de las sucesivas asociaciones de fósiles también pueden reflejar que se trata de diversos fondos marinos en los que el grado de consolidación fue cada vez mayor para los niveles más recientes. Por ejemplo, en los sucesivos niveles estratigráficos de cada secuencia, a menudo se observa un cambio gradual en la composición taxonómica de las asociaciones de restos y/o señales de organismos bentónicos: desde asociaciones con predominio de elementos pertenecientes a endobiontes sedentívoros o suspensívoros, en los niveles inferiores, hasta asociaciones dominadas por restos y/o señales de organismos epibentónicos sésiles, incrustantes y/o perforantes, en los niveles superiores. Otro criterio para contrastar la polaridad entre los diferentes términos de las secuencias sedimentarias es la variación en el estado de conservación de los fósiles. Por ejemplo, el aumento de la frecuencia relativa de fósiles reelaborados hacia la parte superior de la secuencia es un criterio muy útil para el análisis secuencial de materiales micríticos o de sedimentos que presentan caracteres texturales homogéneos (Fernández-López y Gómez, 1990b).

A igualdad de velocidad de sedimentación para los distintos niveles estratigráficos de la secuencia de somerización característica de plataforma, las superficies de omisión y removilización son cada vez más frecuentes y acusadas hacia los términos superior y en el mismo sentido disminuyen los valores de la tasa de sedimentación (fig. 2B). Los niveles con asociaciones condensadas suelen ser particularmente notorios en la base de estas secuencias, pero también pueden estar en los términos intermedios

y superiores. Los horizontes de condensación o los llamados «lags» transgresivos que suelen tener estas secuencias en su base no implican condensación estratigráfica o condensación sedimentaria. En contra de la interpretación habitual, el horizonte de condensación de la base de estas secuencias es un nivel de removilización formado en un intervalo breve de sedimentación rápida. Los máximos valores de tasa, velocidad, profundidad relativa y grado de acomodación de los sedimentos corresponden a los niveles basales de estas secuencias, y los valores de estas variables disminuyen hacia el techo.

6. Condensación en plataformas someras

Tanto los procesos de condensación estratigráfica como los de condensación sedimentaria pueden ser frecuentes en ambientes oceánicos o durante episodios de máxima transgresión regional; pero no son exclusivos de esos ambientes ni sirven para diagnosticar condiciones batimétricas profundas. Las propiedades que habitualmente se emplean para diagnosticar los niveles condensados, tales como la presencia de concreciones retrabajadas, las costras ferruginosas o fosfáticas, y las tasas de sedimentación extremadamente bajas, entre otras propiedades, se han desarrollado también en condiciones paleobatimétricas poco profundas y durante episodios regresivos. Los procesos de condensación estratigráfica, sin condensación sedimentaria, han sido frecuentes en las plataformas epicontinentales someras y durante los episodios de máxima regresión regional; por lo cual, la duración relativa de los niveles condensados a menudo aumenta en dirección a las áreas más costeras.

Un ejemplo de secciones condensadas en plataformas carbonáticas someras, con frecuentes niveles de condensación estratigráfica y con abundantes asociaciones condensadas, es el de las facies desarrolladas en la Cuenca Ibérica durante el tránsito Lías/Dogger. Los materiales de esta facies son fundamentalmente calizas con *Zoophycos*, que se caracterizan por la frecuencia de «hard-grounds», superficies de omisión, pátinas ferruginosas, minerales autigénicos como la glauconita, niveles de

oolitos ferruginosos y/o fosfáticos, y asociaciones condensadas con altas concentraciones de ammonites pertenecientes a dos o más zonas. El grado de condensación tafonómica de algunas asociaciones de ammonites en el sector central de la Cuenca Ibérica llega a ser de siete cronozonas, donde las asociaciones pueden encontrarse incluidas en tempestitas de espesor centimétrico (fig. 3). Según los mode-

los de Estratigrafía Secuencial, la condensación estaría ligada a las zonas profundas de la plataforma durante las etapas de máxima transgresión. Sin embargo, las secciones condensadas de este sector de la Cuenca Ibérica están constituidas por carbonatos con niveles de removilización, grietas de desecación, superficies de carstificación, fondos rocosos irregulares, brechas intraformaciona-

les y relleno geopetal de cavidades formadas por denudación y disolución, generadas en ambientes submareales muy someros a intermareales y emergidos (Fernández-López y Gómez, 1990a, c). En consecuencia, la presencia y la distribución de niveles o secciones condensadas, así como las variaciones de su duración relativa, no son criterios diagnósticos de cambios paleogeográficos hacia con-

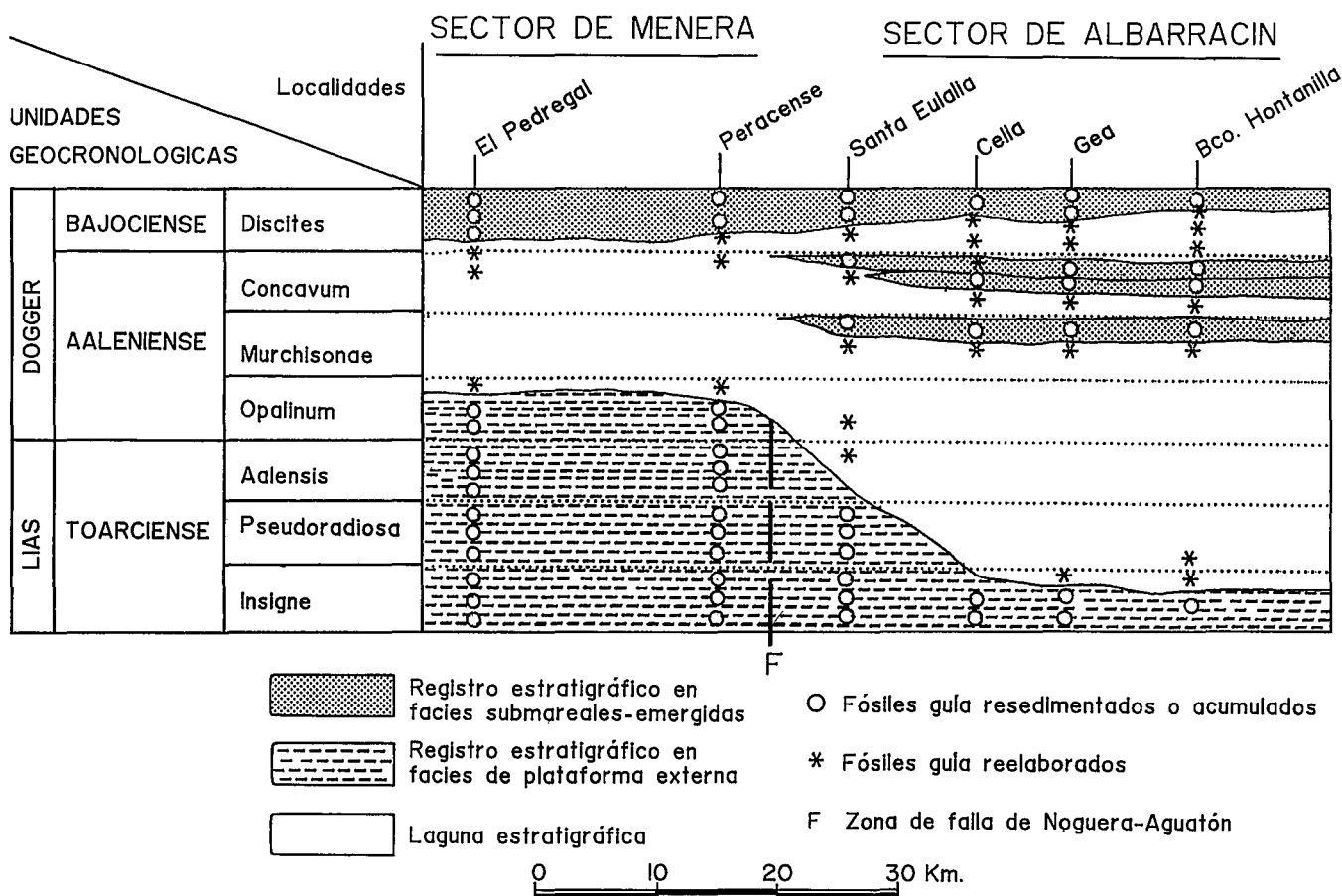


Fig. 3.—Distribución cronológica del registro estratigráfico y sus lagunas para el tránsito Lías-Dogger en varias localidades del sector central de la Cuenca Ibérica, en una extensión geográfica superior a 60 kilómetros. Entre los fósiles guía utilizados para datar los cuerpos rocosos se han distinguido dos grupos tafonómicos que están indicados respectivamente con círculos (cuando se trata de fósiles resedimentados o acumulados) y con asteriscos (si son fósiles reelaborados). Aunque son frecuentes los niveles de removilización que contienen fósiles heredados a escala de zona o de piso, las biozonas y cronozonas han sido identificadas teniendo en cuenta los fósiles resedimentados. En algunas localidades hay fósiles reelaborados característicos de cronozonas de las que no hay registro estratigráfico. En cualquier localidad donde hay fósiles reelaborados, las asociaciones de fósiles y los cuerpos rocosos que las contienen no representan el mismo intervalo temporal. Algunos ammonites son incluso más antiguos que los materiales del nivel inmediatamente inferior. Los sedimentos del Toarciense Superior y del Aalenense Inferior corresponden a facies de plataforma externa somera, mientras que los sedimentos del Aalenense Medio y Superior así como los del Bajociense Inferior representan ambientes submareales muy someros a emergidos. Esta plataforma carbonática estuvo diferenciada estructuralmente durante el tránsito Lías-Dogger en dos bloques, el Sector de Menera y el Sector de Albarracín, separados por la zona de falla de Noguera-Aguatón.

Fig. 3.—Chronological distribution of the stratigraphic record and hiatuses for the Lias-Dogger boundary in several localities at the central sector of the Iberian Basin. Represented section is more than 60 km. long. Among the characteristic fossils used for datation of the rock bodies, two taphonomic groups have been distinguished. These groups are composed by the reelaborated fossils (asterisk) and the resedimented or accumulated fossils (circles). Even remobilization levels containing inherited fossils at the scale of zone or stage are frequent, the biozones and chronozones have been identified taking only into account the resedimented fossils. In some localities there are reelaborated fossils characteristic of chronozones of which the stratigraphic record is not present. In any locality where reelaborated fossils are present, the fossil assemblages and the rock bodies containing them do not represent the same temporal interval. Some ammonites are even older than the rocks of the level located immediately below. The Upper Toarcian and Lower Aalenian sediments correspond to shallow external platform facies, whilst the Middle and Upper Aalenian and Lower Bajocian sediments represent very shallow subtidal to emerged sediments. This carbonate platform was structurally differentiated in two blocks during the Lias-Dogger transition. These two blocks, called the Menera and Albarracín Sectors, were separated by the Noguera-Aguatón fault zone.

diciones más oceánicas o de mayor profundidad.

Las secciones condensadas de las plataformas distales y las de las plataformas proximales no son necesariamente el resultado de los mismos cambios relativos de nivel del mar, y pueden deberse a distintos eventos eustáticos, diacrónicos entre sí y de sentido contrario. La distinción entre los procesos de condensación estratigráfica y de condensación sedimentaria permite correlacionar temporalmente las secciones condensadas que se han desarrollado en las áreas profundas de las plataformas, una vez diferenciadas de las que se han desarrollado en las áreas someras. Las secciones condensadas de cada uno de estos dos tipos, profundas o someras, pueden deberse exclusivamente a factores eustáticos cuya máxima intensidad afectó de manera sincrónica a la totalidad de la cuenca. Sin embargo, si en los análisis secuenciales se confunden las secciones condensadas de las zonas proximales y someras con las secciones condensadas de las zonas medias y distales, entonces las correlaciones temporales establecidas pueden llegar a ser tan diacrónicas como cualquiera de las unidades litoestratigráficas desarrolladas en la plataforma.

7. Conclusiones

Los conceptos de condensación estratigráfica, condensación sedimentaria y condensación tafonómica son útiles para analizar las pautas de distribución de los sedimentos en las cuencas, así como para estimar las variaciones laterales y verticales de las tasas (VTS) y de las velocidades de sedimentación (VVS).

La distribución relativa de las inconformidades y de las secciones condensadas no puede seguir siendo utilizada como criterio diagnóstico de una localización paleogeográfica particular, o de cambios eustáticos hacia condiciones más oceánicas o de mayor profundidad. Durante las etapas de máxima transgresión pueden ocurrir procesos de condensación en las partes distales de las cuencas, pero también hay procesos de condensación durante las etapas de máxima regresión en las partes más someras de las plataformas.

En contra de la interpretación más usual del desarrollo de las secuencias

de somerización o de las parasecuencias, los máximos valores de tasa, profundidad relativa y grado de acomodación de los sedimentos de estas secuencias corresponden a los niveles basales, y los valores de estas variables disminuyen hacia el techo.

La distinción entre los procesos de condensación de estas tres categorías permite predecir que los grados de condensación estratigráfica serán mayores hacia las partes distales de las plataformas; mientras que los procesos de condensación estratigráfica sin condensación sedimentaria presentarán su máxima intensidad y frecuencia en las áreas más someras de las plataformas.

Si se siguen correlacionando indiscriminadamente las secciones condensadas de las zonas medias y distales de las cuencas, generadas durante máximos transgresivos, con las secciones condensadas de las zonas proximales, debidas a máximos regresivos, las correlaciones temporales establecidas serán tan diacrónicas como las facies más progradantes o retrogradantes desarrolladas en la plataforma.

Referencias

- Doglioni, C.; Bosellini, A. y Vail, P. R. (1990): Stratal patterns: a proposal of classification and examples from the Dolomites. *Basin Research*, 2, 83-95.
- Fernández-López, S. (1984): Nuevas perspectivas de la Tafonomía evolutiva: Tafosistemas y asociaciones conservadas. *Estudios Geol.*, 40, 215-224.
- Fernández López, S. (1991): Taphonomic concepts for a theoretical biochronology. *Revista Española de Paleontología*, 6, 37-49.
- Fernández-López, S. y Gómez, J. J. (1990a): Evolution tectono-sédimentaire et genèse des associations d'Ammonites dans le secteur central du Bassin Ibérique (Espagne) pendant l'Aalénien. *Cahiers Univ. Catho. Lyon*, 4: 39-52.
- Fernández-López, S. y Gómez, J. J. (1990b): Utilidad sedimentológica y estratigráfica de los fósiles reelaborados. *Comunicaciones de la Reunión de Tafonomía y Fossilización*. Dpto. Paleontología, Univ. Complutense Madrid: 125-144.
- Fernández-López, S. y Gómez, J. J. (1990c): Facies aalenienenses y bajocienenses, con evidencias de emersión y carsificación, en el sector central de la Cuenca Ibérica. Implicaciones paleogeográficas. *Cuad. Geol. Ibér.*, 14: 67-111.
- Fernández-López, S. y Gómez, J. J. (1991): Condensación: significados y aplicaciones al análisis de cuencas. *Estudios Geol.*, in litt.
- Hallam, A. (1988): A reevaluation of Jurassic eustasy in the light of new data and the revised Exxon curve. In: *Sea-level Changes: An Integrated Approach* (C. K. Wilgus, B. S. Hastings, C. G. S. C. Kendall, H. Posamentier, C. A. Ross y J. C. Van Wagoner, Eds.), Soc. Econ. Paleont. Mineral., Spec. Publ., 42: 261-273.
- Hag, B. U.; Hardenbol, J. y Vail, P. R. (1988): Mesozoic and Cenozoic Chronostratigraphy and Eustatic Cycles. In: *Sea-level Changes: An Integrated Approach* (C. K. Wilgus, B. S. Hastings, C. G. S. C. Kendall, H. Posamentier, C. A. Ross y J. C. Van Wagoner, Eds.), Soc. Econ. Paleont. Mineral., Spec. Publ., 42: 71-108.
- Heim, A. (1934): Stratigraphische Kondensation. *Eclog. Geol. Helv.*, 27: 372-383.
- Jacquín, T.; Arnaud-Vanneau, A.; Arnaud, H.; Ravenne, C. y Vail, P. R. (1991): Systems tracts and depositional sequences in a carbonate setting: a study of continuous outcrops from platform to basin at the scale of seismic Lines. *Marine and Petroleum Geology*, 8: 122-139.
- Loutit, T. S.; Hardenbol, J.; Vail, P. R. y Baun, G. R. (1988): Condensed sections: the key to age determination and correlation of continental margin sequences. In: *Sea-level Changes: An Integrated Approach* (C. K. Wilgus, B. S. Hastings, C. G. S. C. Kendall, H. Posamentier, C. A. Ross y J. C. Van Wagoner, Eds.), Soc. Econ. Paleont. Mineral., Spec. Publ., 42: 183-213.
- Riout, M.; Dugué, O.; Du Chêne, J.; Ponsot, C.; Fily, G.; Moron, J.-M. y Vail, P. R. (1991): Outcrop Sequence stratigraphy of the Anglo-Paris Basin Middle to Upper Jurassic (Normandy, Maine, Dorset). *Bull. Centres Rech. Explor.-Prod. Elf Aquitaine*, 15: 101-194.
- Vail, P. R.; Colin, J. P.; Chene, R. J. du; Kuchly, J.; Mediavilla, F. y Trifilieff, V. (1987): La stratigraphie séquentielle et son application aux corrélations chronostratigraphiques dans le Jurassique du bassin de Paris. *Bull. Soc. Géol. France*, (8), 3: 1301-1321.
- Van Wagoner, J. C.; Posamentier, H. W.; Mitchum, R. M., jr.; Vail, P. R.; Sarg, J. F.; Loutit, T. S. y Hardenbol, J. (1988): An overview of the fundamentals of sequence stratigraphy and key definitions. In: *Sea-level Changes: An Integrated Approach* (C. K. Wilgus, B. S. Hastings, C. G. S. C. Kendall, H. Posamentier, C. A. Ross y J. C. Van Wagoner, Eds.), Soc. Econ. Paleont. Mineral., Spec. Publ., 42: 39-45.